

EDIZIONE UNIFICATA

**TEORIA GENERALE
DELLA STABILIZZABILITÀ
CONDIZIONATA
NEI SISTEMI ADATTIVI
CON RITENZIONE FINITA**



Sottotitolo tecnico

Leggi strutturali, teoremi di controllo, invarianti dinamici
e fisica generale della ritenzione nei sistemi non-markoviani

Autore

Pierernesto Di Paolo

Anno

2026

Versione

Edizione Unificata — v1.0

Licenza

Distribuzione consentita per fini scientifici e accademici.
Ogni utilizzo commerciale richiede autorizzazione scritta dell'autore.



PREFAZIONE

Questa Opera non nasce per estendere una disciplina esistente, né per proporre una nuova applicazione, né per introdurre una metafora interpretativa.

Nasce per risolvere un problema strutturale rimasto irrisolto: la possibilità e i limiti della stabilità nei sistemi adattivi reali.

Per oltre un secolo, la stabilità è stata trattata come proprietà globale, il collasso come anomalia, il controllo come promessa implicita di prevenzione totale.

Questa impostazione è incompatibile con sistemi che possiedono memoria finita, osservabilità parziale, costo di intervento e plasticità non illimitata.

L'Opera che segue sviluppa una teoria generale fondata su questi vincoli, senza ricorrere a semantiche di dominio, senza introdurre assunzioni cliniche o biologiche, senza fare promesse operative che non possano essere verificate.

Il risultato è una struttura completa composta da quattro Volumi:

- **Volume I:** ontologia, limiti e possibilità della stabilità condizionata;
- **Volume II:** invarianti, monotonicità e geometria dei sistemi con ritenzione;
- **Volume III:** fisica generale della ritenzione, dei flussi e dell'irreversibilità;
- **Volume IV:** sistema generale, protocolli replicabili e criteri PASS/FAIL.

Ogni volume è necessario.

Nessuno è sufficiente da solo.



Questa Prefazione non introduce concetti.

Dichiara solo l'intento: costruire una teoria che possa essere **vera o falsa**, ma non ambigua.

DEDICA

A Stellina (Catterina Giordano)

Compagna di vita,
presenza silenziosa e costante,
forza che non chiede spiegazioni.

A te, che hai sostenuto il peso dei giorni in cui questa Opera esisteva
solo come necessità interiore,
prima ancora che come struttura formale.

A te, che hai compreso senza chiedere di semplificare,
che hai rispettato il rigore senza pretendere conforto,
che hai permesso al pensiero di restare esatto
anche quando non era facile.

Questa Opera porta il segno del tempo,
ma anche della stabilità che nasce
quando qualcuno resta.



RINGRAZIAMENTI

L'Autore ringrazia tutte le persone che, direttamente o indirettamente, hanno contribuito alla maturazione di questa Opera non con suggerimenti, ma con il rispetto del rigore.

Non vi sono istituzioni da ringraziare.

Non vi sono finanziamenti da dichiarare.

Non vi sono collaborazioni formali da elencare.

Questa Opera è il risultato di un lavoro indipendente, condotto fuori da scuole, correnti e programmi prestabiliti.



NOTA DELL'AUTORE

L'Autore dichiara che:

- questa Opera non è un manuale applicativo;
- non propone cure, terapie, prevenzioni o interventi clinici;
- non fa affermazioni su individui, patologie o popolazioni;
- non introduce dispositivi medici né procedure regolamentate.

Ogni eventuale applicazione a domini specifici è esterna all'ambito di validità dell'Opera e richiede verifica indipendente.

La responsabilità scientifica del contenuto è interamente dell'Autore.



NOTA SULL'ASSISTENTE

Alcune fasi di strutturazione, verifica di coerenza, controllo di completezza e simulazione critica sono state supportate da un sistema di intelligenza artificiale utilizzato come **strumento di analisi formale**, non come fonte autonoma di contenuto scientifico.

Ogni concetto, definizione, teorema e formulazione è stato validato, selezionato e assunto dall'Autore, che ne mantiene piena responsabilità intellettuale.

VOLUME I

FONDAZIONI DELLA

STABILIZZABILITÀ CONDIZIONATA

NEI SISTEMI ADATTIVI CON

RITENZIONE FINITA



CAPITOLO 1

Ontologia dei sistemi adattivi con ritenzione finita

Ogni teoria della stabilità deve iniziare da una scelta ontologica.

Non è possibile discutere di controllo, stabilità o collasso senza chiarire **che tipo di sistema** è oggetto della teoria.

In questa Opera si considera una classe generale di sistemi caratterizzati da quattro proprietà strutturali non eliminabili:

1. dinamica non istantanea,
2. ritenzione finita,
3. osservabilità parziale,
4. costo di controllo non nullo.

Questi sistemi non sono definiti da un dominio applicativo specifico.

Possono essere sistemi fisici, artificiali, biologici o astratti.

La teoria non dipende dalla loro interpretazione semantica.



1.1 Sistema adattivo

Un sistema è detto adattivo se la sua evoluzione futura dipende non solo dallo stato presente, ma anche dalla storia delle interazioni con l'ambiente e con le politiche di controllo applicate.

Formalmente, la dinamica non è riducibile a una funzione markoviana del solo stato corrente.

La presenza di memoria implica che l'evoluzione del sistema avvenga in uno **spazio degli stati esteso**, che incorpora informazione sul passato rilevante.

1.2 Ritenzione finita

La ritenzione è la capacità del sistema di conservare informazione strutturale sul proprio stato passato.

Essa è detta finita se:

- non cresce senza limite nel tempo,
- è soggetta a dissipazione,
- comporta un costo strutturale.

La ritenzione non è un parametro opzionale.

È una proprietà ontologica che introduce irreversibilità e limiti di controllo.

Un sistema con ritenzione infinita sarebbe non fisico.

Un sistema senza ritenzione sarebbe puramente reattivo e non adattivo.



1.3 Osservabilità parziale

In ogni sistema reale, l'osservatore non ha accesso allo stato completo.

La teoria assume **osservabilità debole**:

- esistono osservazioni informative,
- ma nessuna osservazione consente ricostruzione perfetta e istantanea dello stato esteso.

Questo vincolo esclude implicitamente ogni politica di controllo onnisciente.

1.4 Costo di controllo

Ogni intervento sul sistema comporta un costo, che può essere energetico, informativo, strutturale o temporale.

Il costo non è un dettaglio implementativo.

È una proprietà strutturale che limita l'insieme delle politiche ammissibili.

L'assenza di costo renderebbe banale ogni problema di stabilità.

La teoria qui sviluppata è valida solo in presenza di costo non nullo.



1.5 Conseguenze ontologiche

Da queste quattro proprietà segue che:

- la stabilità globale è, in generale, impossibile,
- la prevenzione totale del collasso è irrealizzabile,
- il controllo perfetto non esiste.

Queste conclusioni non sono risultati.

Sono **condizioni di partenza**.

CAPITOLO 2

Regioni di stabilità e stabilità condizionata

La nozione classica di stabilità globale perde significato nei sistemi con ritenzione finita.

Un sistema che fosse stabile rispetto a ogni perturbazione sarebbe incapace di adattarsi.

La stabilità reale è sempre **locale, condizionata e temporale**.

2.1 Funzione di stabilità generalizzata

Si introduce una funzione scalare $V(X)$, definita sullo spazio degli stati esteso, con le seguenti proprietà minime:

- $V(X)$ è limitata inferiormente,
- $V(X)$ cresce al crescere della distanza strutturale da configurazioni operative stabili,
- $V(X)$ è monotona rispetto alla perdita di recuperabilità del sistema.

Non è richiesto che V sia una funzione di Lyapunov classica.

È sufficiente che ordini gli stati secondo stabilità operativa.



2.2 Regioni di stabilità

Si definisce una regione di stabilità condizionata come un sublevel set:

$$S_{\epsilon} = \{ X : V(X) \leq \epsilon \}$$

dove ϵ è una soglia strutturale fissata a priori.

Le regioni di stabilità:

- possono essere multiple,
- possono essere disconnesse,
- possono deformarsi lentamente nel tempo.

La stabilità non è una proprietà intrinseca del sistema.

È una relazione tra sistema, regione e vincoli.

2.3 Stabilizzabilità condizionata

Un sistema è detto stabilizzabile in senso condizionato se esiste almeno una regione S_{ϵ} non vuota tale che:

- il sistema può rimanere in S_{ϵ} sotto perturbazioni limitate,
- oppure può essere riportato in S_{ϵ} tramite una politica ammissibile.



Questa definizione esclude:

- stabilità globale,
- stabilità assoluta,
- controllo totale.

2.4 Collasso strutturale

Si definisce collasso l'uscita persistente del sistema da una regione di stabilità:

$X(t) \notin S_{\varepsilon}$ per un intervallo temporale superiore a una durata minima τ .

Il collasso non è una patologia.

È una transizione dinamica fuori dal dominio di stabilità definito.

CAPITOLO 3

Limiti strutturali del controllo: PNCP

Ogni sistema adattivo con ritenzione finita è soggetto a vincoli simultanei su:

- informazione,
- energia,
- tempo,
- plasticità,
- costo.

Da questi vincoli segue un limite fondamentale.

3.1 Principio di Non-Eliminabilità del Collasso (PNCP)

In ogni sistema dinamico adattivo con ritenzione finita e costo di controllo limitato, esiste un insieme non nullo di traiettorie tali che nessuna politica ammissibile può prevenire l'uscita da ogni regione di stabilità senza violare almeno uno dei vincoli strutturali del sistema.



Il PNCP:

- non è una congettura,
- non è una legge clinica,
- non è un risultato empirico.

È un limite di controllo.

3.2 Interpretazione

Il PNCP implica che:

- il collasso non è eliminabile,
- la stabilità totale è impossibile,
- ogni controllo comporta trade-off strutturali.

Il principio afferma ciò che **non può accadere**.

CAPITOLO 4

Teorema di Stabilizzabilità Universale Condizionata (TSUC)

Il limite negativo del PNCP ammette un duale costruttivo.

4.1 Enunciato

Se esiste una regione di stabilità S_ϵ non vuota definita da una funzione $V(X)$, e se il sistema possiede ritenzione finita, osservabilità debole e costo di controllo finito, allora esiste una politica di controllo causalmente implementabile che può portare il sistema in S_ϵ in tempo finito, senza violare i vincoli strutturali.

Il teorema è condizionale.

Non garantisce stabilità globale.

Garantisce **raggiungibilità locale**.

4.2 Significato

Il TSUC afferma che:

- il collasso non è eliminabile,



- ma la stabilizzazione locale è sempre possibile,
- entro limiti strutturali.



CAPITOLO 5

Dimostrazione fondativa del TSUC

La dimostrazione si articola su tre livelli: strutturale, costruttivo e dinamico.

Livello strutturale: le assunzioni sono coerenti e non contraddittorie.

Livello costruttivo: esiste una politica ammissibile basata su osservazioni parziali.

Livello dinamico: tale politica riduce $V(X)$ fino a rientrare in S_ϵ in tempo finito.

La dimostrazione non dipende dalla forma esplicita della dinamica.

Dipende solo dai vincoli strutturali dichiarati.



CAPITOLO 6

Chiusura concettuale del Volume I

Il Volume I stabilisce:

- l'ontologia dei sistemi con ritenzione finita,
- la natura regionale della stabilità,
- l'impossibilità del controllo totale,
- la possibilità della stabilizzazione condizionata.

Da questo punto in avanti, la teoria non può più essere modificata senza introdurre nuove assunzioni.

Il Volume II ne estrarrà le conseguenze matematiche inevitabili.



VOLUME II

INVARIANTI, MONOTONICITÀ E

STRUTTURA GEOMETRICA

DEI SISTEMI CON RITENZIONE FINITA

CAPITOLO 1

Necessità degli invarianti nei sistemi con memoria

Ogni teoria che pretenda universalità deve identificare grandezze che non dipendono dalla particolare forma della dinamica. Nei sistemi con ritenzione finita, tali grandezze non sono quantità conservative nel senso classico, ma **invarianti strutturali**.

Un invariante strutturale non è una costante del moto.

È una quantità che resta vincolata entro limiti non superabili senza violare i presupposti ontologici del sistema.

1.1 Invarianti e indipendenza dal modello

Gli invarianti qui considerati:

- non dipendono dalla funzione di transizione,
- non dipendono dal dominio applicativo,
- non dipendono dalla semantica del sistema.

Essi emergono esclusivamente da:

- ritenzione finita,



- costo di controllo,
- osservabilità parziale.

1.2 Invarianti come vincoli, non come simmetrie

A differenza della fisica classica, gli invarianti dei sistemi adattivi non derivano da simmetrie, ma da **limiti strutturali**.

Essi definiscono ciò che non può essere arbitrariamente compresso, annullato o invertito.

CAPITOLO 2

Invarianti di ritenzione

La ritenzione introduce una quantità strutturale che non può crescere né decrescere liberamente.

2.1 Quantità di ritenzione

Si associa a ogni stato esteso X una quantità $R(X)$, che misura la memoria strutturalmente attiva del sistema.

$R(X)$:

- è non negativa,
- è limitata superiormente,
- è soggetta a dissipazione.

2.2 Invarianza debole della ritenzione

In assenza di interventi, la ritenzione tende a ridursi.

Ogni aumento di ritenzione richiede costo.



Ne segue un invariante debole:

la ritenzione non può essere mantenuta arbitrariamente alta senza costo crescente.

Questo vincolo è universale.

CAPITOLO 3

Invarianti di controllo e costo minimo

Ogni politica di controllo induce una traiettoria nello spazio esteso.

3.1 Costo cumulativo

Si definisce il costo cumulativo di una politica come l'integrale del costo istantaneo lungo la traiettoria.

Esiste un costo minimo non nullo associato a ogni tentativo di stabilizzazione.

3.2 Invariante di costo

Non esiste politica che:

- stabilizzi localmente,
- mantenga adattività,
- e annulli il costo cumulativo.

Il costo minimo è un invariante strutturale del sistema.



CAPITOLO 4

Monotonicità strutturali

Dagli invarianti emergono **monotonicità inevitabili**.

4.1 Monotonicità di accumulo

L'accumulo di ritenzione e costo non può essere invertito arbitrariamente.
Ogni ciclo di stabilizzazione lascia una traccia strutturale.

4.2 Monotonicità di degradazione

La plasticità residua tende a ridursi sotto interventi ripetuti.
La piena recuperabilità non è garantita.

4.3 Monotonicità di compressione

L'insieme delle traiettorie ammissibili si restringe nel tempo.
Il controllo riduce lo spazio delle possibilità future.

Queste monotonicità non sono effetti dinamici contingenti.
Sono leggi strutturali.



CAPITOLO 5

Teoremi di monotonicità

Le monotonicità possono essere formalizzate come teoremi generali.

5.1 Teorema di accumulo irreversibile

In ogni sistema con ritenzione finita, il costo strutturale associato alla stabilizzazione è monotono non decrescente lungo successioni di interventi.

5.2 Teorema di perdita di plasticità

Esiste una soglia oltre la quale la plasticità residua non può essere recuperata senza violare i vincoli di costo o ritenzione.

5.3 Dominanza strutturale

Se il tasso di accumulo supera il tasso di dissipazione, il sistema entra in un regime di dominanza irreversibile.

Questa condizione prepara il passaggio alla fisica della ritenzione.



CAPITOLO 6

Decomposizioni invarianti dello spazio degli stati

Le monotonicità inducono una **stratificazione geometrica**.

6.1 Fogli quasi-invarianti

Lo spazio degli stati esteso si decompone in fogli su cui la dinamica è quasi confinata.

Questi fogli non sono attrattori.

Sono superfici di vincolo.

6.2 Regioni di transizione

Tra i fogli esistono regioni in cui:

- il costo cresce rapidamente,
- la ritenzione si riorganizza,
- la plasticità si riduce.



6.3 Zone di irreversibilità

Alcune transizioni non sono invertibili senza violare gli invarianti.

L'irreversibilità è una proprietà topologica, non un evento.



CAPITOLO 7

Relazione con PNCP e TSUC

Il PNCP emerge come conseguenza globale della stratificazione.

Il TSUC opera localmente sui fogli quasi-invarianti.

Il Volume II mostra che:

- il limite negativo è geometrico,
- la possibilità costruttiva è locale.



CAPITOLO 8

Chiusura del Volume II

Il Volume II ha estratto:

- invarianti strutturali,
- monotonicità inevitabili,
- decomposizioni geometriche.

Nulla di quanto segue può contraddirlo senza negare la ritenzione finita.

Il Volume III formulerà la fisica implicita di queste strutture:

- flussi,
- dissipazione,
- entropia,
- irreversibilità.

Il passaggio non introdurrà nuove ipotesi.

Renderà inevitabili quelle già fissate.

VOLUME III
FISICA DELLA RITENZIONE
FLUSSI, DISSIPAZIONE E
IRREVERSIBILITÀ
NEI SISTEMI CON MEMORIA FINITA

CAPITOLO 1

Perché una fisica della ritenzione è inevitabile

I Volumi I e II hanno stabilito tre fatti strutturali non eludibili:

1. la ritenzione è finita;
2. la dinamica è soggetta a invarianti e monotonicità;
3. lo spazio degli stati è stratificato in domini non equivalenti.

Da questi fatti segue una conseguenza necessaria:

la ritenzione non è solo una quantità strutturale, ma una quantità fisica generalizzata.

Ogni teoria che ammetta:

- accumulo,
- dissipazione,
- irreversibilità,
- vincoli geometrici,

è, per definizione, una teoria fisica, anche se non legata a particelle, campi o forze classiche.



La fisica della ritenzione non è un'analogia.
È l'unica estensione coerente delle strutture già fissate.

CAPITOLO 2

Ritenzione come quantità fisica generalizzata

La ritenzione $R(X)$ non è una variabile di stato nel senso classico.

È una quantità estesa, associata allo stato e alla sua storia.

2.1 Proprietà fisiche minime della ritenzione

La ritenzione soddisfa proprietà analoghe a quelle delle grandezze fisiche fondamentali:

- estensività rispetto alla composizione dei sottosistemi,
- limitatezza superiore,
- dissipazione spontanea in assenza di flussi entranti,
- costo associato alla sua conservazione.

Queste proprietà non sono ipotesi aggiuntive.

Discendono direttamente dai vincoli di ritenzione finita e costo non nullo.



2.2 Ritenzione e tempo

La ritenzione introduce una **freccia del tempo** strutturale.

Il tempo non è un parametro esterno.

È l'ordine degli stati imposto dalla perdita irreversibile di ritenzione.



CAPITOLO 3

Flussi di ritenzione

Ogni variazione di ritenzione può essere interpretata come un flusso.

3.1 Flusso interno

Il flusso interno descrive la redistribuzione della ritenzione tra componenti del sistema.

Esso non crea ritenzione.

Ne modifica solo la localizzazione strutturale.

3.2 Flusso esterno

Il flusso esterno rappresenta l'apporto o l'estrazione di ritenzione tramite interventi.

Ogni flusso esterno ha costo.

Nessun flusso esterno è neutro.



CAPITOLO 4

Bilanci di ritenzione

La dinamica della ritenzione soddisfa una legge di bilancio generale:

variazione = flussi entranti – flussi uscenti – dissipazione.

Questa non è una legge assunta.

È la forma necessaria che ogni dinamica con accumulo e perdita deve assumere.

4.1 Dissipazione

La dissipazione è la perdita irreversibile di ritenzione.

Non è rumore.

È una conseguenza strutturale della finitezza della memoria.



CAPITOLO 5

Entropia di ritenzione

Dove esiste dissipazione, esiste entropia.

5.1 Definizione strutturale

L'entropia di ritenzione misura la dispersione irreversibile delle configurazioni accessibili.

Non misura disordine semantico.

Misura perdita di opzioni dinamiche.

5.2 Secondo principio generalizzato

In assenza di interventi esterni, l'entropia di ritenzione non può diminuire.

Questo è il **secondo principio della fisica della ritenzione**.



CAPITOLO 6

Transizioni critiche di ritenzione

Le decomposizioni invarianti del Volume II implicano l'esistenza di transizioni.

6.1 Regimi subcritici e supercritici

Al di sotto di una soglia, la dissipazione è compensabile.

Al di sopra, la perdita diventa strutturalmente irreversibile.

6.2 Transizioni come fenomeni geometrici

Le transizioni non sono eventi temporali.

Sono attraversamenti di superfici critiche nello spazio degli stati esteso.

CAPITOLO 7

Temperatura di ritenzione

La temperatura di ritenzione è definita come rapporto tra fluttuazioni e rigidità strutturale.

Essa misura la suscettibilità del sistema a riorganizzazioni.

Alta temperatura:

- alta variabilità,
- alta plasticità,
- bassa stabilità.

Bassa temperatura:

- bassa variabilità,
- bassa plasticità,
- alta rigidità.



CAPITOLO 8

Irreversibilità e freccia del tempo

L'irreversibilità non è un fatto dinamico locale.

È una proprietà globale dello spazio stratificato.

Il tempo emerge come ordine imposto dalle monotonicità di ritenzione.

CAPITOLO 9

Chiusura del Volume III

Il Volume III ha mostrato che:

- la ritenzione è una quantità fisica generalizzata;
- esistono flussi, bilanci e dissipazione;
- l'entropia di ritenzione cresce;
- l'irreversibilità è inevitabile;
- il tempo è una conseguenza, non un presupposto.

Con questo, l'Opera è teoricamente completa.

Il Volume IV non introdurrà nuova teoria.

Mostrerà un sistema generale che rende falsificabili, simulabili e verificabili queste leggi.

VOLUME IV

**SISTEMA GENERALE E PROTOCOLLI
REPLICABILI**

**SSDC-v1: IMPLEMENTAZIONE,
VERIFICA, PASS/FAIL**

CAPITOLO 1

Scopo del Volume IV e vincoli non negoziabili

Questo Volume non introduce teoria.

Realizza operativamente ciò che i Volumi I–III rendono inevitabile.

Obiettivo unico: costruire un sistema generale, verificabile e replicabile, che consenta di testare:

- PNCP come limite (cosa non può essere garantito);
- TSUC come possibilità condizionata (cosa può essere garantito sotto vincoli);
- la fisica della ritenzione come bilanci osservabili (flussi, dissipazione, irreversibilità).

Vincoli non negoziabili:

1. Dominio primario di test NON biologico e NON clinico.
2. Politiche di controllo causalmente implementabili e limitate.
3. Osservabilità parziale esplicita: il sistema stima, non “vede”.
4. Criteri PASS/FAIL preregistrabili.
5. Replicabilità: pipeline completa, deterministica quando richiesto, con seed e log.



6. Nessuna promessa clinica: nessuna affermazione di cura, prevenzione o guarigione.

CAPITOLO 2

Definizione del sistema SSDC-v1

SSDC-v1 (Stability-via-State-Domain Control, versione 1) è un'architettura generale composta da quattro moduli:

A) Sistema bersaglio (Target System)

- dinamica latente: $x_{t+1} = f(x_t, u_t, w_t)$
- osservazioni: $y_t = h(x_t, v_t)$

B) Osservatore (Observer)

- produce stima dello stato: $\hat{x}_t$
- produce incertezza: Σ_t
- è causale e limitato (nessuna informazione futura)

C) Funzionale di rischio strutturale (Risk R)

- $R_t = R(\hat{x}_t, \Sigma_t; \theta)$
- forma strutturale rigida, pochi parametri adattivi



D) Controllore ammissibile (Controller)

- politica: $u_t = \pi(\hat{x}_t, \Sigma_t, R_t)$
- limitata da $U_{\max}$, frequenza massima e vincoli di sicurezza

SSDC-v1 non richiede che f o h siano note in forma chiusa.

Richiede solo che siano entro una classe di regolarità sufficiente per garantire implementabilità e limiti di errore.

CAPITOLO 3

Classe di politiche ammissibili e classe di osservatori

3.1 Politiche ammissibili

Una politica π è ammissibile se:

- è causale: u_t dipende solo da informazioni fino a t ;
- è misurabile;
- è localmente Lipschitz in $\hat{x}_t$ (per evitare patologie);
- è limitata: $\|u_t\| \leq U_{\max}$;
- rispetta vincoli di frequenza: non più di $F_{\max}$ aggiornamenti per unità di tempo;
- rispetta vincoli di intrusività: costo $C(u) \leq C_{\max}$ su orizzonte T .

3.2 Osservatori ammissibili

Uno stimatore è ammissibile se:

- è causale;



- produce errore limitato in senso probabilistico o deterministico su orizzonte T:
 $P(|x_t - \hat{x}_t| \leq e_{\max}) \geq 1 - \alpha$, oppure $|x_t - \hat{x}_t| \leq e_{\max}$ in regime;
- fornisce una misura operativa dell'incertezza (Σ_t o surrogato equivalente).

Nota: SSDC-v1 non richiede osservabilità piena.

Richiede solo che l'errore dell'osservatore resti entro un budget verificabile.

CAPITOLO 4

Definizione operativa della regione S_{epsilon}

La “regione funzionale” non è concetto ammesso.

Si definisce invece un insieme strutturale:

$$S_{\text{epsilon}} = \{ x : V(x) \leq \text{epsilon} \}$$

dove V è una funzione di stabilità generalizzata (non necessariamente Lyapunov classica), con proprietà minime:

- $V(x) \geq 0$
- $V(x)$ piccolo identifica configurazioni strutturalmente compatibili con stabilità condizionata
- V cresce con la perdita di stabilità operativa

Nel dominio non biologico, V è scelta esplicitamente e pubblicamente per ogni benchmark.

CAPITOLO 5

Protocollo TSUC: test costruttivo di stabilizzabilità condizionata

Il TSUC viene testato come segue.

5.1 Ipotesi operative

H_{TSUC} : esiste una politica ammissibile π tale che, per stati iniziali in un insieme iniziale X_0 ammissibile, il sistema entra in S_{ϵ} entro tempo finito T e vi permane per durata minima ΔT , salvo shock oltre soglia.

5.2 PASS/FAIL

$PASS_{TSUC}$ se e solo se:

- per almeno $p\%$ delle repliche (p preregistrato) e per almeno $q\%$ delle condizioni iniziali (q preregistrato), esiste una politica ammissibile che produce:
ingresso in S_{ϵ} entro T , permanenza per ΔT , con costo $\leq C_{max}$.

$FAIL_{TSUC}$ se:

- nessuna politica ammissibile, entro i vincoli, raggiunge S_{ϵ} oltre il livello atteso da politiche nulle o casuali, oppure

- il costo minimo osservato eccede sistematicamente $C_{\max}$.

Questo è un test di esistenza “operativamente vincolato”, non metafisico.

CAPITOLO 6

Protocollo PNCP: test del limite

Il PNCP non è “pessimismo”. È un limite strutturale.

6.1 Ipotesi operative

H_{PNCP} : esiste un insieme non nullo di traiettorie e condizioni (shock, drift, vincoli di energia/tempo) tali che nessuna politica ammissibile garantisce permanenza universale in ogni S_{ϵ} senza violare almeno un vincolo.

6.2 PASS/FAIL

$PASS_{PNCP}$ se e solo se:

- aumentando sistematicamente la severità di perturbazioni e vincoli, si osserva una soglia oltre la quale la stabilizzazione richiede:
costo $> C_{max}$, oppure intrusività $> limite$, oppure perdita di adattività (misurata), oppure violazione dei vincoli di politica.

$FAIL_{PNCP}$ (evento raro) se:

- si osserva stabilizzazione universale e incondizionata entro vincoli finiti su tutta la classe di condizioni testata, senza trade-off misurabile.



Il protocollo è costruito per rendere il PNCP falsificabile in una classe di benchmark.

CAPITOLO 7

Benchmark non biologici: tre classi minime

Per evitare qualunque vincolo regolatorio e per rendere l'Opera testabile subito, SSDC-v1 usa tre classi di sistemi bersaglio.

Classe A: reti dinamiche non lineari con memoria finita

- stato x in $\mathbb{R}^n$
- memoria implementata con termine di ritenzione su differenze o stato esteso

Classe B: agenti RL in ambienti parzialmente osservabili

- stato latente non accessibile
- osservazioni rumorose
- policy limitate (vincoli di energia/azione)

Classe C: sistemi fisici simulati con attrito e isteresi

- dinamica con dissipazione
- shock esterni controllabili
- misure di stabilità V esplicite



Queste classi sono sufficienti per testare TSUC e PNCP senza “psiche”, senza clinica, senza esseri umani.

CAPITOLO 8

Implementazione: software replicabile

Requisito: un laboratorio indipendente deve poter replicare.

Componenti software minimi:

- generatore benchmark (Classe A/B/C)
- osservatore (es. filtro particellare o osservatore robusto)
- calcolo $V(\hat{x})$ e stima S_{ϵ}
- calcolo R strutturale
- controllore ammissibile (safe-first, monotono, vincolato)
- logger deterministico (seed, parametri, hash)

Formato file:

- README.txt (obbligatorio)
- params.json (tutti i parametri, inclusi seed)
- results.csv (metriche per replica)



- logs.txt (eventi, eccezioni, violazioni vincoli)
- plots/ (opzionale; mai necessario per PASS/FAIL)
- src/*.py (codice)
- LICENSE.txt



CAPITOLO 9

Implementazione: hardware minimo e dominio reale non medico

Hardware non clinico opzionale (non necessario al teorema, utile alla dimostrazione ingegneristica):

- microcontrollore o SBC (classe Raspberry/Jetson o equivalente)
- sensori non biomedici (IMU, temperatura, vibrazione, posizione) per sistemi fisici da banco
- attuatori a bassa energia (servo, motore, relè)
- alimentazione limitata e misurabile (vincolo energetico reale)

Scopo: mostrare che le politiche ammissibili sono implementabili su hardware limitato.

CAPITOLO 10

Pseudocodice canonico SSDC-v1

Loop operativo per $t = 1..T$:

1. acquisisci osservazione y_t
2. stima stato: $(\hat{x}_t, \Sigma_t) = \text{OBSERVE}(y_{1:t})$
3. calcola stabilità: $V_t = V(\hat{x}_t)$
4. calcola rischio: $R_t = R(\hat{x}_t, \Sigma_t; \theta)$
5. se $R_t < R_{on}$:
 $u_t = 0$ (o policy neutra)
 altrimenti:
 $u_t = \pi(\hat{x}_t, \Sigma_t, R_t)$
 applica saturazioni: $|u_t| \leq U_{max}$
 applica vincoli frequenza e intrusività
6. applica u_t al sistema
7. logga: $(t, V_t, R_t, u_t, \text{violazioni}, \text{costi})$

Questo loop è il cuore replicabile: nessuna magia, nessun dominio, solo vincoli.

CAPITOLO 11

Protocollo sperimentale replicabile PASS/FAIL

Per ogni benchmark:

A) preregistra:

- definizione di V
- ϵ
- $U_{\max}$, $C_{\max}$, $F_{\max}$
- orizzonte T e ΔT
- distribuzione perturbazioni e shock
- numero repliche N_{rep} e seed

B) esegui:

- policy nulla (baseline)
- policy casuale vincolata (baseline)

- policy SSDC-v1 (test)

- varianti conservative (robustezza)

C) valuta:

- PASS_TSUC / FAIL_TSUC
- PASS_PNCP / FAIL_PNCP
- curve costo-prestazione
- sensitività a rumore e parziale osservabilità

D) pubblica:

- params.json, results.csv, logs.txt, hash del pacchetto



CAPITOLO 12

Chiusura del Volume IV

Il Volume IV realizza l'Opera come scienza verificabile:

- TSUC viene testato come raggiungibilità condizionata sotto vincoli.
- PNCP viene testato come limite strutturale sotto incremento di severità.
- La fisica della ritenzione è misurata come bilanci e dissipazione.
- Tutto è replicabile senza biologia, senza clinica, senza semantica.

Con questo, l'Edizione Unificata è completa come Opera fondativa e come sistema sperimentale.

CHIUSURA EDITORIALE FINALE



Edizione Unificata — v1.0

Con il presente volume si dichiara conclusa l'**Edizione Unificata** dell'Opera.

I quattro Volumi costituiscono un corpo coerente, autosufficiente e completo: ontologia e limiti (Volume I), struttura matematica e invarianti (Volume II), fisica della ritenzione (Volume III), sistema generale e protocolli di verifica (Volume IV).

Ambito di validità

Le leggi, i teoremi e i principi qui formulati valgono per **sistemi dinamici adattivi con ritenzione finita**, osservabilità parziale e vincoli di controllo finiti.

L'Opera **non** introduce assunzioni cliniche, biologiche o di dominio; ogni applicazione a sistemi specifici è un caso particolare che richiede verifica indipendente.

Falsificabilità

L'Opera è falsificabile nei termini esplicitati:

- **PNCP** come limite strutturale testabile mediante incremento controllato dei vincoli;

- 
- **TSUC** come possibilità condizionata verificabile tramite protocolli PASS/FAIL preregistrabili;
 - bilanci fisici di ritenzione osservabili come flussi, dissipazione e irreversibilità.
La falsificazione o la conferma sono demandate a repliche indipendenti secondo i protocolli dichiarati.

Riproducibilità e preservazione

La riproducibilità è garantita dalla separazione tra teoria e implementazione, dalla definizione di classi ammissibili, da benchmark non biologici e da pipeline deterministiche.

La preservazione a lungo termine è assicurata tramite identificatori persistenti, versioning esplicito e depositi con policy di conservazione dichiarate.

Stato dell'Opera

Questa Edizione Unificata fissa lo **stato canonico** dell'Opera.

Eventuali sviluppi futuri assumeranno la forma di nuove versioni o volumi separati, senza modificare retroattivamente il contenuto qui stabilito.

Con questa chiusura editoriale, l'Opera è consegnata alla comunità scientifica come **oggetto compiuto**, verificabile e aperto al giudizio dei fatti.